

*Радіoeлектроніка біомедичних технологій***ОЦІНКА ДИНАМІКИ ВОДНОГО БАЛАНСУ ЛЮДИНИ ПІД ЧАС ГОЛОДУВАННЯ ЗА ДВОЧАСТОТНИМ ВИМІРЮВАННЯМ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРИЧНОГО БІОІМПЕДАНСУ***Архипська М. О.; Шарпан О. Б., д.т.н., проф.**КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна*

Вступ. В сучасній біофізичній діагностиці розвиваються неінвазивні методи визначення функціонального стану біооб'єктів за вимірюванням параметрів електричного імпедансу, які використовуються для оцінювання водного балансу тіла людини [1 і ін.]. Нами досліджувалася можливість і особливості оцінки динаміки безжирової маси тіла (БМТ) та загальної води організму (ЗВО) людини під час «сухого» добового голодування за вимірюванням параметрів електричного імпедансу на двох рознесених частотах, відмінних від частоти 50 кГц, яка традиційна використовується для оцінювання води в організмі.

Апаратура, методика і результати досліджень. В процесі досліджень використовувався дослідний біоімпедансометр TOP-M2. Імпедансометр забезпечує вимірювання модуля і аргумента (фази) імпедансу ділянок тіла людини на частотах 20, 100 і 500 кГц. Це дає можливість розрахунку всіх інших складових (активної, реактивної, ємності) імпедансу на цих частотах.

Неінвазивне черезшкірне вимірювання імпедансу відносно сагітальної площини тіла здійснювали за стандартною методикою (окремо ліва рука – ліва нога і права рука – права нога) [1] з використанням парних тетраполярних «активних» електродів із нержавіючої сталі [2]. Одну пару електродів накладали на кордоні нижньої та середньої третини гомілки ноги, другу — на кордоні нижньої та середньої третини передпліччя руки. Проводилися наступні етапи вимірювання: у вихідному стані вранці за півдобу до початку голодування (I); під час голодування вранці наступного дня через 15 годин після прийому їжі (II); через 19 годин після прийому їжі (III); через 37 годин після прийому їжі (IV); через 5 годин після виходу з голодування (V).

Оцінка параметрів водного БМТ та ЗВО здійснювалася за інтегральною одночастотною методикою визначення складу тіла, що заснована на вимірюванні активного опору ділянки тіла на частоті 50 кГц, яка на сьогоднішній день є поширеною в області біомедичного імпедансного аналізу. Для визначення БМТ і ЗВО використані наступні рівняння

$$\text{БМТ} = a_0 + \frac{a_1 \text{ДТ}^2}{R_{50}} + a_{\text{МТ}} \text{МТ} + a_{\text{В}} \text{Вік} + a_{\text{См}} \text{Стать} + \text{Дод}, \quad (1)$$

$$\text{ЗВО} = b_0 + \frac{a_1 \text{ДТ}^2}{R_{50}} + b_{\text{МТ}} \text{МТ} + b_{\text{В}} \text{Вік} + b_{\text{См}} \text{Стать} + \text{Дод}, \quad (2)$$

де ДТ – довжина тіла (см), R_{50} — активна складова імпедансу на частоті 50 кГц (Ом), МТ – маса тіла (кг), Стать — 1 для чоловіків і 0 для жінок, Дод — додатковий коефіцієнт, який вказаний у публікаціях регресійних формул [1]. Рівняння (1) і (2) та значення використаних в них параметрів a і b

(таблиці 1 і 2) отримані за результатами верифікації біоімпедансної оцінки компонентів БМТ і ЗВО на основі співставлення результатів біоімпедансного аналізу з результатами еталонних методів, отриманого різними авторами [*]: Kyle et al., 2001 [K]; Deurenberg et al., 1991 [D] (для БМТ); Deurenberg et al., 1995 [D] (для ЗВО); Heitmann, 1990 [H]; Sun et al., 2003 [S]; Kushner, Schoeller, 1986 [Ku]. В таблицях 2 і 3 також представлено показники кількості досліджених людей N, їх вік та стать, середньоквадратичну помилку SEE (кг), кореляцію r.

Параметри регресійних рівнянь для оцінки БМТ Таблиця 1

№	a_0	a_1	a_{MT}	a_B	a_{Cm}	Дод	SEE	r^2	N	Стать	Вік	ЕМ	*
1	-4,10	0,52	0,23	-	4,23	0,13 X_{C50}	1,8	0,97	343	ч, ж	18-94	РД	[K]
2	-12,44	0,34	0,15	-0,13	4,56	0,15ДТ	2,6	0,93	661	ч, ж	>16	БК, ГД	[D]
3	6,34	0,58	0,18	-	-	-	2,8	-	72	ж	50-70	ГД	[L]
4	5,32	0,49	0,34	-	-	-	2,9	-	153	ч	18-29	ГД	[L]
5	-14,94	0,28	0,18	-0,08	0,06МТ	0,23ДТ	3,6	0,9	139	ч, ж	35-65	РІ, К	[H]
6	-9,55	0,7	0,17	-	-	0,02 R_{50}	2,9	0,83	1095	ж	12-94	БК	[S]
7	-10,68	0,65	0,26	-	-	0,02 R_{50}	3,9	0,9	734	ч	12-94	БК	[S]

Параметри регресійних рівнянь для оцінки ЗВО Таблиця 2

№	b_0	b_1	b_{MT}	b_B	b_{Cm}	Дод	SEE	r^2	N	Стать	Вік	ЕМ	*
1	6,53	0,37	0,18	-0,11	2,83	-	1,74	0,95	139	ч, ж	-	РІ	[D]
2	-17,58	0,24	-0,17	-	0,04МТ	0,17ДТ	3,47	0,85	139	ч, ж	35-65	БК, РІ	[H]
3	8,4	0,4	0,14	-	-	-	1,66	0,96	40	ч	17-66	РІ	[Ku]
4	8,32	0,38	0,11	-	-	-	0,88	0,95	40	ж	17-66	РІ	[Ku]
5	1,2	0,45	0,18	-	-	-	3,8	0,84	734	ч	12-94	БК	[S]
6	3,75	0,45	0,11	-	-	-	2,6	0,79	1095	ж	12-94	БК	[S]

Оскільки вимірювання здійснювалися на інших частотах (20 і 100 кГц), виникла задача переведення результатів вимірювань опору на цих частотах на частоту 50 кГц. Для цього досліджено і порівняно різні методи інтерполяції результатів вимірювань, а саме: лінійної інтерполяції, полінома Лагранжа і сплайн-функції. Встановлено, що при інтерполяції поліномом Лагранжа і сплайн-функцією отримуємо практично однаковий результат (відносна розбіжність не перевищує 0.002) через наближений характер функцій інтерполяції. У разі лінійної інтерполяції наявне дещо більше відхилення (до 0.01) від результатів попередніх інтерполяцій.

Таблиця 3

Номер циклу	20 кГц	50 кГц (лінійна інтерполяція)	50 кГц (інтерполяція поліномом Лагранжа)	100 кГц
I	498	462,75	459,602	404
II	483	445,875	442,445	396
III	483	450,375	447,406	479,7
IV	536	510,5	508,672	468
V	511	482,125	479,758	434

Результати вимірювань параметрів імпедансу на частотах 20 і 100 кГц і інтерполяції їх на частоту 50 кГц для одного циклу голодування в різні етапи досліджень для лівої частини тіла людини наведені в таблиці 3. Результати розрахункової кількісної оцінки динаміки БМТ і ЗВО для цього циклу представлені на графіках рис. 1 і рис. 2.

Висновки. Оцінка динаміки БМТ і ЗВО за результатами вимірювань параметрів біоімпедансу на двох частотах дозволяє відслідковувати функціональний стан водного балансу тіла людини відповідно до етапу голодування. Загальна тенденція зміни параметрів БМТ і ЗВО полягає у їх незначному підвищенні на початковому етапі голодування, як ознака захисної реакції організму на стресову ситуацію. Надалі параметри знижуються до завершення голодування, після чого організм починає своє відновлення.

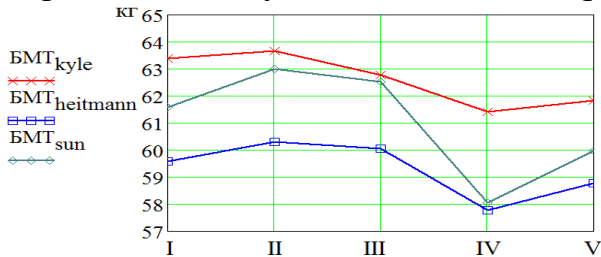


Рис. 1. Динаміка зміни БМТ людини під час циклу вимірювань

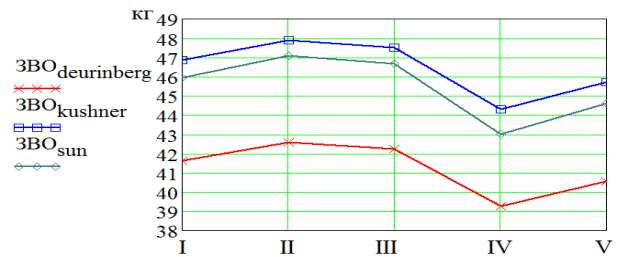


Рис. 2. Динаміка зміни ЗВО людини під час циклу вимірювань

Краща збіжність показників БМТ спостерігається у разі використання верифікаційних параметрів, отриманих Kyle et al., Heitmann, Sun et al.; для ЗВО така збіжність має місце для параметрів, отриманих Deurenberg et al., 1995, Kushner, Sun et al.

Перелік посилань

1. Николаев Д.В., Смирнов А.В., Бобринская И.Г., Руднев С.Г. Биоимпедансный анализ состава тела человека. М.: Наука, 2009. 392 с.
2. Bioimpedance Monitoring of Dialysis Patients During Ultrafiltration. Mosiychuk V. S., Timoshenko G. V., Sharpan O. B., Tkachuk B. V., Tomashevskyi R. S. 2016 IEEE 36th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO) P.236.

Анотація

Досліджено можливість і особливості оцінки динаміки безжирової маси тіла та загальної води організму людини під час «сухого» півторадобового голодування за вимірюванням параметрів електричного імпедансу на двох рознесених частотах, відмінних від частоти 50 кГц, яка традиційно використовується для оцінювання води в організмі.

Ключові слова: біоімпедансне вимірювання, інтерполяція, безжирова маса тіла, загальна вода організму.

Аннотация

Исследованы возможность и особенности оценки динамики безжировой массы тела и общей воды организма во время «сухого» полуторасуточного голодания человека по измерениям биоимпеданса тела на двух разнесенных частотах, отличных от традиционно используемой частоты 50 кГц.

Ключевые слова: биоимпедансное измерение, интерполяция, безжировая масса тела, общая вода организма.

Abstract

Research the possibility and features of evaluating dynamics the lean body mass and total water of the organism during a 36-hour "dry" fasting, using measurements of bioelectrical impedance in two frequencies that differ from the usual frequency of 50 kHz.

Keywords: measurements of bioelectrical impedance, interpolation, lean body mass, total water of the organism.